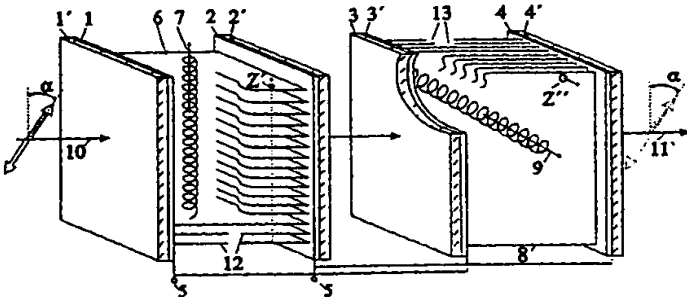


**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

|  |           |   |
|--|-----------|---|
| <b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :</b><br><b>G02F 1/1347, G01J 9/00</b>  | <b>A1</b> | <b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 00/29901</b><br><b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 25. Mai 2000 (25.05.00)   |
| <b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP99/08206<br><b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 29. Oktober 1999 (29.10.99)<br><br><b>(30) Prioritätsdaten:</b><br>198 52 890.6 17. November 1998 (17.11.98) DE<br><br><b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> DEUTSCHE TELEKOM AG [DE/DE];<br>Friedrich-Ebert-Allee 140, D-53113 Bonn (DE).<br><br><b>(72) Erfinder; und</b><br><b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> DULTZ, Wolfgang [DE/DE];<br>Marienberger Strasse 37, D-65936 Frankfurt am Main (DE). BERESNEV, Leonid [RU/US]; 10730 Faulkner Ridge Circle, Columbia, MD 21044 (US). HAASE, Wolfgang [DE/DE]; Im Trappengrund 72, D-64354 Reinheim (DE). ONOKHOV, Arkadii [RU/RU]; Trefoleva Strasse 6/30, W.6, St.Petersburg, 198097 (RU).<br><br><b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> DEUTSCHE TELEKOM AG;<br>Patentabteilung R 151, D-64307 Darmstadt (DE).  |           | <b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> CA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).<br><br><b>Veröffentlicht</b><br><i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> |
| <b>(54) Title:</b> ELECTROOPTICAL LIGHT MODULATOR<br><b>(54) Bezeichnung:</b> ELEKTROOPTISCHER LICHTMODULATOR<br><br><br><br><b>(57) Abstract</b><br><p>The invention relates to an electrically controlled light modulator with subsequently arranged liquid crystal layers which are embedded between transparent plates. Said plates have a surface anisotropy which aligns the molecules of the liquid crystals and they also have electrodes to generate an electric field in said liquid crystals. At least two layers of helical smectic ferroelectric liquid crystals are arranged one behind the other in the beam path of a light beam to be modulated. The directions of the fast or slow axes of the individual layers are twisted against one another in such a manner that the polarization of the light beam is the same before and behind the modulator. The invention further provides an adaptive optical device which has a field comprising a graticule-type arrangement of light modulators. Said modulators are arranged in the beam path of the device. Every light modulator can be controlled individually to compensate losses of definition of an image to be processed which may occur point-by-point.</p> |           |   |

### (57) Zusammenfassung

Bei einem elektrisch ansteuerbaren Lichtmodulator mit hintereinander angeordneten Flüssigkristallschichten, die zwischen transparenten Platten mit einer die Moleküle der Flüssigkristalle ausrichtenden Oberflächenanisotropie und mit Elektroden zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in den Flüssigkristallen eingeschlossen sind, sind wenigstens zwei Schichten helikaler smektischer ferroelektrischer Flüssigkristalle hintereinander im Strahlengang eines zu modulierenden Lichtstrahles angeordnet. Die Richtungen der schnellen bzw. langsamen Achsen der einzelnen Schichten sind gegeneinander derart verdreht, daß die Polarisation des Lichtstrahls vor und hinter dem Modulator gleich ist. Es wird eine adaptive optische Einrichtung angegeben, welche ein Feld von rasterartig angeordneten Lichtmodulatoren aufweist. Die Modulatoren sind in dem Strahlengang der Einrichtung angeordnet, wobei jeder einzelne Lichtmodulator zur Kompensation punktuell auftretender Unschärfen eines zu verarbeitenden Bildes ansteuerbar ist.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

|    |                              |    |                                   |    |   |    |                                |
|----|------------------------------|----|-----------------------------------|----|---|----|--------------------------------|
| AL | Albanien                     | ES | Spanien                           | LS | Lesotho   | SI | Slowenien                      |
| AM | Armenien                     | FI | Finnland                          | LT | Litauen   | SK | Slowakei                       |
| AT | Österreich                   | FR | Frankreich                        | LU | Luxemburg                                       | SN | Senegal                        |
| AU | Australien                   | GA | Gabun                             | LV | Lettland  | SZ | Swasiland                      |
| AZ | Aserbaidshan                 | GB | Vereinigtes Königreich            | MC | Monaco  | TD | Tschad                         |
| BA | Bosnien-Herzegowina          | GE | Georgien                          | MD | Republik Moldau                                 | TG | Togo                           |
| BB | Barbados                     | GH | Ghana                             | MG | Madagaskar                                      | TJ | Tadschikistan                  |
| BE | Belgien                      | GN | Guinea                            | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan                   |
| BF | Burkina Faso                 | GR | Griechenland                      |    |   | TR | Türkei                         |
| BG | Bulgarien                    | HU | Ungarn                            | ML | Mali  | TT | Trinidad und Tobago            |
| BJ | Benin                        | IE | Irland                            | MN | Mongolei  | UA | Ukraine                        |
| BR | Brasilien                    | IL | Israel                            | MR | Mauretanien                                     | UG | Uganda                         |
| BY | Belarus                      | IS | Island                            | MW | Malawi  | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada                       | IT | Italien                           | MX | Mexiko  |    |                                |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan                             | NE | Niger   | UZ | Usbekistan                     |
| CG | Kongo                        | KE | Kenia                             | NL | Niederlande                                     | VN | Vietnam                        |
| CH | Schweiz                      | KG | Kirgisistan                       | NO | Norwegen  | YU | Jugoslawien                    |
| CI | Côte d'Ivoire                | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | NZ | Neuseeland                                      | ZW | Zimbabwe                       |
| CM | Kamerun                      |    |                                   | PL | Polen   |    |                                |
| CN | China                        | KR | Republik Korea                    | PT | Portugal  |    |                                |
| CU | Kuba                         | KZ | Kasachstan                        | RO | Rumänien  |    |                                |
| CZ | Tschechische Republik        | LC | St. Lucia                         | RU | Russische Föderation                            |    |                                |
| DE | Deutschland                  | LI | Liechtenstein                     | SD | Sudan   |    |                                |
| DK | Dänemark                     | LK | Sri Lanka                         | SE | Schweden  |    |                                |
| EE | Estland                      | LR | Liberia                           | SG | Singapur  |    |                                |

## 5    **Elektrooptischer Lichtmodulator**

Die Erfindung betrifft einen elektrisch ansteuerbaren Lichtmodulator mit hintereinander angeordneten Flüssigkristallschichten, die zwischen transparenten Platten mit einer die Moleküle der Flüssigkristalle ausrichtenden Oberflächenanisotropie und mit Elektroden zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in den Flüssigkristallen eingeschlossen sind.

Derartige Modulatoren werden zur Phasenkorrektur von Licht in vielerlei optischen Einrichtungen benötigt. Insbesondere im Bereich der adaptiven Optiken werden in zunehmenden Maße Möglichkeiten gesucht, lokale Unschärfen in dem Objektbild eines Fernrohres oder einer Kamera, welche beispielsweise durch atmosphärische Effekte oder Wärmespannungen im Gerät entstehen, korrigieren zu können. Gerade in Verbindung mit schneller digitaler Bildverarbeitungstechnik ergeben sich Möglichkeiten, ein derart verzerrtes Bild noch während des Betrachtens zu korrigieren, indem das Bild von einem elektronisch ansteuerbaren Raster von optisch wirksamen Elementen korrigiert wird, welches in den Strahlengang des Objektbildes eingefügt ist. Damit lassen sich Aufnahme- und Beobachtungsgeräte denken, die auch bei starken Störungen ein scharfes Bild liefern.

Flüssigkristalle können aufgrund ihrer elektrooptischen Eigenschaften zur Steuerung der Phase einer durch sie hindurchtretenden Lichtwelle verwendet werden, indem der Brechungsindex einer Schicht aus Flüssigkristallen mittels eines elektrischen Feldes beeinflusst wird. Die wesentlichen elektrooptischen Effekte in Flüssigkristallen ändern sowohl die Doppelbrechung als auch die Orientierung der Indikatrix der Brechungsindizes des Flüssigkristalls. Für die meisten Anwendungen ist dies unerwünscht, denn neben der Phasenverschiebung ergibt sich aufgrund des anisotropen Charakters der Flüssigkristalle beim Durchtritt durch den

5 Flüssigkristall auch eine Änderung der Polarisierung. Deswegen kann mit derartigen Flüssigkristallen nur polarisiertes Licht behandelt werden. Wellenfrontänderungen durch  
Phasenverzögerung sollen aber für die oben genannten  
Anwendungen polarisationsunabhängig möglich sein.

10

Bei der Verwendung nematischer Flüssigkristalle ist es möglich, die Phase eines Lichtstrahls zu verändern, ohne daß die Polarisierung des Lichts beeinflußt wird. Jedoch ist es auch hier notwendig, daß das Licht parallel zum Direktor der  
15 orientierten Flüssigkristallmoleküle linear polarisiert ist. Ferner ist die Reaktionsgeschwindigkeit derartiger Zellen zu gering für die Verwendung in bildverarbeitenden  
Einrichtungen.

20 Ferroelektrische Flüssigkristalle (FLC) können in einer hinreichend kurzen Operationszeit angesteuert werden. Die Anwendungsmöglichkeiten gewöhnlicher ferroelektrischer Flüssigkristalle sind aber wegen der geringen erreichbaren Phasenänderungen sehr eingeschränkt. Bei Zellendicken von  
25 10µm erreicht man gerade eine Phasenverschiebung von etwa 1/10 der Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Es ist aber eine Phasenverschiebung von einer ganzen Wellenlänge oder mehr anzustreben, um damit alle notwendigen Phasenkorrekturen durchführen zu können.

30

In EP 0 309 774 wird eine Flüssigkristallzelle beschrieben, die den bei FLC auftretenden DHF-Effekt (Deformation der Helixstruktur im elektrischen Feld) zur kontinuierlichen Phasensteuerung und Graustufendarstellung benutzt. Die  
35 optische Phasensteuerung beruht auf einer starken Änderung des mittleren Brechungsindex des Flüssigkristalls durch ein angelegtes elektrisches Feld. Die Änderung der Doppelbrechung der deformierten Helixstruktur kann  $d(n) = 5\%$  erreichen, die mittlere Brechungsanisotropie  $\langle dn \rangle = 15\%$ . Aufgrund der  
40 optischen Eigenschaften der helikalen Struktur des dort verwendeten chiralen smektischen Flüssigkristalls im

5 elektrischen Feld ist die Änderung der Doppelbrechung mit  
starken Orientierungsänderungen der mittleren optischen  
Indikatrix verknüpft. Das bedeutet, daß sich das Licht nach  
dem Durchlaufen des Flüssigkristalls in einem  
Polarisationszustand befindet, der stark vom  
10 Polarisationszustand im Eingang abhängt. Diese Abhängigkeit  
verbietet die Verwendung der beschriebenen Zelle für die  
geforderten Zwecke.

In Love, Restaino, Carreras, Loos, Morrison, Baur and Kopp:  
15 "Polarization Insensitive 127-Segment Liquid Crystal  
Wavefront Corrector", Adaptive Optics, Vol. 13, pp. 228-290,  
Optical Society of America, Washington D.C., 1996 wird ein  
elektrooptisch arbeitender Modulator zur Phasensteuerung von  
unpolarisiertem Licht vorgestellt, der zwei  
20 hintereinanderliegende Flüssigkristallschichten vom  
nematischen Typ enthält. In der angeführten Arbeit werden  
zwei nematische Schichten so angeordnet, daß die Direktoren  
der Flüssigkristalle im feldfreien Zustand senkrecht  
aufeinander stehen. Die Zelle ist aber, wie oben schon  
25 erwähnt wurde, viel zu langsam für den angestrebten  
Verwendungszweck.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen elektrisch  
ansteuerbaren Lichtmodulator anzugeben, der eine Schaltzeit  
30 in der Größenordnung von 1060-460 Sekunden oder darunter bei  
einer maximalen Phasenverschiebung von über 20 aufweist, der  
die Phase eines beliebig polarisierten Lichtstrahls stufenlos  
verändern kann, ohne dessen Polarisationszustand zu ändern,  
und der zur Erstellung ortsauflösender adaptiver optischer  
35 Einrichtungen geeignet, das heißt klein, leicht und  
verlustarm ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß  
wenigstens zwei Schichten helikaler smektischer  
40 ferroelektrischer Flüssigkristalle, deren jeweils schnelle  
und langsame optische Achse parallel zu der jeweiligen

5 Schicht liegen und deren mittlere optische Anisotropie durch  
Einwirkung des elektrischen Feldes beeinflussbar ist,  
hintereinander im Strahlengang eines zu modulierenden  
Lichtstrahls angeordnet sind und daß die Richtungen der  
schnellen bzw. langsamen Achsen der einzelnen Schichten  
10 gegeneinander derart verdreht sind, daß die Polarisation des  
Lichtstrahls vor und hinter dem Modulator gleich ist.

Die "langsame" Achse entspricht dabei derjenigen Richtung, in  
welcher der Brechungsindex am größten ist. Die "schnelle"  
15 Achse ist diejenige Richtung, in welcher der Brechungsindex  
am kleinsten ist. Das heißt, daß die Phase eines in der  
langsamen Richtung polarisierten Lichtstrahls stark verzögert  
wird und die Phase eines in der schnellen Richtung  
polarisierten Lichtstrahls weniger stark. Durch die  
20 Anisotropie der Brechungsindizes kommt es damit bei beliebig  
polarisiertem Licht zu einer Änderung des  
Polarisationszustandes beim Durchlaufen der  
Flüssigkristallschichten. Die Verdrehung der einzelnen  
Schichten zueinander ist gerade so bemessen, daß die  
25 angesprochene Änderung des Polarisationszustandes in den  
folgenden Schichten wieder rückgängig gemacht wird.

Im einfachsten Fall wird der Lichtmodulator so ausgestaltet,  
daß zwei Flüssigkristallschichten derart hintereinander  
30 angeordnet sind, daß die langsame optische Achse der ersten  
Schicht senkrecht auf der langsamen optischen Achse der  
zweiten Schicht steht, daß die schnelle optische Achse der  
ersten Schicht senkrecht auf der schnellen optischen Achse  
der zweiten Schicht steht und daß die Ausrichtung der  
35 langsamen und der schnellen optischen Achsen der beiden  
Schichten zueinander während des Anlegens und Veränderns der  
Steuerspannung jederzeit erhalten bleibt.

Durch die Kreuzung der schnellen und langsamen Achsen der  
40 beiden Schichten im rechten Winkel werden die

5 Doppelbrechungsänderungen und die Orientierungsänderungen der Indikatrixellipsoide der Brechungsindizes gerade kompensiert.

Es kann zur Reduzierung des Bauvolumens vorgesehen sein, daß die Flüssigkristallschichten zwischen zwei transparenten  
10 Platten eingeschlossen sind, an deren Elektroden eine Steuerspannung zur Erzeugung eines elektrischen Feldes anlegbar ist.

Um dagegen den Bauaufwand für den Lichtmodulator zu  
15 reduzieren und die Massenfertigung zu erleichtern, kann alternativ vorgesehen sein, daß die Flüssigkristallschichten jeweils zwischen zwei transparenten Platten eingeschlossen sind, an deren Elektroden je eine Steuerspannung zur Erzeugung je eines elektrisches Feldes anlegbar ist.

20 Zur Herstellung des erfindungsgemäßen Lichtmodulators wird die benötigte Anzahl der so gefertigten Einzelzellen hintereinander angeordnet.

25 Bei der Verwendung gleicher Schichtdicken und Materialien für die Schichten ist vorgesehen, daß die Flüssigkristallschichten die gleichen mittleren Brechungsindizes aufweisen, die gleiche Dicke haben und synchron mit den gleichen Steuerspannungen beaufschlagbar  
30 sind.

Bei der Verwendung unterschiedlicher Schichtdicken oder unterschiedlicher Materialien für die einzelnen Schichten ist  
35 dagegen vorgesehen, daß das Verhältnis der Steuerspannungen zueinander zur Kompensation der Polarisationsänderungen eines durchtretenden Lichtstrahls einstellbar ist. Dadurch läßt sich eine Überkreuzung der Hauptbrechungsrichtungen auch bei unsymmetrisch aufgebauten Zellen erreichen.

40 Die Fertigung von Flüssigkristallzellen ist sehr aufwendig; große Stückzahlen entsprechen nicht den Anforderungen an die

5 Genauigkeit und müssen daher aussortiert und dem  
Produktionsprozeß erneut zugeführt werden. Zur Vereinfachung  
und Verbilligung der Produktion ist vorgesehen, daß die  
Steuerspannungen für die einzelnen Flüssigkristallschichten  
zur Kompensation von Fertigungstoleranzen abgleichbar sind.

10

Der erfindungsgemäße Lichtmodulator arbeitet mit einer  
smektischen Flüssigkristallmischung FLC-472/FLC-247 besonders  
gut im Bereich des sichtbaren Lichts, welche aus 60 gew%  
Phenyl-Pyrimidin und 40 gew% einer achiralen smektischen A-  
15 oder C-Matrix mit einer chiralen Dotierung auf der Basis von  
di-substituiertem Ether von Bis-Terphenyl-Di-Carboxylsäure  
besteht. Diese Dotierung induziert eine spontane Polarisation  
von etwa 160 nC/cm<sup>2</sup> in der Matrix mit einer Helixstruktur der  
Windungsperiode von etwa 0,3 µm in der chiralen smektischen  
20 Phase. Bereits eine Arbeitsspannung von 0V bis 4V verursacht  
einen smektischen Ablenkungswinkel von 0° bis ±22,5° bei  
einer Ansprechzeit von 122 von 150 µs. Die Modulationstiefe  
zwischen zwei gekreuzten Schichten beträgt damit bis zu 100%.  
Die Änderung des mittleren Brechungsindex beträgt bei der  
25 oben genannten Arbeitsspannung bereits bis zu 5%. Um eine  
Phasendifferenz von der Größenordnung der Wellenlänge des zu  
steuernden Lichts zu erhalten, genügt eine summierte  
Schichtdicke von 10 µm. Diese Schichtdicke ist die Summe der  
Dicken der Einzelschichten.

30

Bei der Verwendung von Kameras oder Fernrohren zur  
Beobachtung von Objekten innerhalb der Erdatmosphäre oder  
durch diese hindurch treten lokale Unschärfen in dem  
Objektbild auf, welche auf atmosphärische Störungen  
35 zurückzuführen sind. Zur Korrektur dieser lokalen Unschärfen  
wird eine adaptive optische Einrichtung vorgeschlagen, welche  
ein Feld von rasterartig angeordneten Lichtmodulatoren des  
durch die Erfindung offenbarten Typs enthält. Das Feld ist in  
dem Strahlengang der Einrichtung angeordnet, wobei jeder  
40 einzelne Lichtmodulator zur Kompensation punktuell



5 auftretender Unschärfen eines zu verarbeitenden Bildes  
ansteuerbar ist.

Dabei kann zur Reduzierung des Bauaufwandes vorgesehen sein,  
daß die Lichtmodulatoren auf einer gemeinsamen Trägerschicht  
10 aufgebracht sind.

Die Einrichtung wird in den Strahlengang des betreffenden  
Beobachtungsgerätes, beispielsweise einer Kamera oder eines  
Fernrohres, eingesetzt. Das von dem Beobachtungsgerät  
15 aufgenommene Objektbild wird einer Bildauswerteeinrichtung  
zugeführt, welche die Unschärfen in dem Bild ermittelt und  
das Modulatorfeld zu deren Kompensation entsprechend  
ansteuert.

20 Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Lichtmodulators  
ist in der Zeichnung anhand mehrerer Figuren dargestellt. Es  
zeigt:

Fig. 1 die Anordnung der Flüssigkristallzellen für den  
25 Modulator und

(Fig. 2 ein schematisches Diagramm der  
Brechungsindexindikatrices für verschiedene Betriebszustände.

30 (Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen  
versehen.

Fig. 1 zeigt die beiden hintereinander im Strahlengang eines  
zu modulierenden Lichtstrahls 10 angeordneten  
35 Flüssigkristallschichten 6 und 8. Die Polarisationsrichtung  
des einfallenden Lichtstrahls 10 und des ausfallenden  
Lichtstrahls 11 wird durch jeweils einen Doppelpfeil  
markiert. Im Beispiel ist die Polarisationsrichtung des  
einfallenden Lichtstrahls 10 um den Winkel  $\theta$  gegenüber der  
40 Senkrechten geneigt.

5 Die erste Flüssigkristallschicht 6 ist zwischen zwei transparenten Elektroden 1 und 2 angeordnet, die auf zwei transparente Platten 1' und 2' aufgebracht sind. Die smektischen Schichten 12 bilden Versetzungsdomänen, entlang derer sich die Moleküle des Flüssigkristalls anordnen. Die  
10 Moleküle des Flüssigkristalls sind von Schicht zu Schicht um einen Winkel verdreht, so daß sich die Struktur einer Helix ergibt, deren Achse 7 in Richtung der Normalen  $z'$  zu den smektischen Schichten 12 verläuft. Die zweite Flüssigkristallschicht 8 ist zwischen den transparenten  
15 Elektroden 3 und 4 angeordnet, die wiederum auf den transparenten Platten 3' und 4' aufgebracht sind. Die Normalenrichtung  $z''$  der smektischen Schichten 13 der zweiten Flüssigkristallschicht 8 und die Achse der Helix 9 sind um  $90^\circ$  gegenüber der Normalenrichtung  $z'$  und der  
20 Helixachse 7 der ersten Schicht 6 verdreht.

Zwei in dieser Weise gekreuzte Flüssigkristallschichten 6 und 8 verändern den Polarisationszustand eines durchgehenden Lichtstrahls 10 nicht. Die reine Phasenmodulation der beiden  
25 Flüssigkristallschichten wird durch den feldabhängigen mittleren Brechungsindex verursacht. Die Doppelbrechung und Orientierungseffekte der Indikatrix in den durch Anlegen einer Spannung an die Anschlüsse 5 erzeugten elektrischen Feldern werden bei allen Feldstärken kompensiert.

30 Fig. 2 zeigt die Auswirkungen eines elektrischen Feldes  $E$  verschiedener Stärke 0,  $E'$ ,  $E''$  auf die Brechungsindizes  $n_{20s20}$  und  $n_{20p20}$  der Flüssigkristallschichten 6 und 8. Die  $x$ - und  $z$ -Achse des dargestellten Koordinatensystems liegen  
35 parallel zu der Ebene der Flüssigkristallschichten. Die  $z$ -Achse liegt zudem parallel zu der Normalenrichtung  $z'$  des ersten Flüssigkristalls 6. Die  $y$ -Achse zeigt in die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichtstrahls 10. In Abbildung a) liegt keine Spannung an. Die langsame Achse mit dem Brechungsindex  $n_{20p20}$  der ersten Flüssigkristallschicht  
40 zeigt in Richtung der  $z$ -Achse, während die langsame Achse mit

- 5 dem Brechungsindex  $n_{20p20}$  der zweiten Flüssigkristallschicht senkrecht zur z-Achse orientiert ist. Der Polarisationszustand des einfallenden Lichts bleibt beim Durchgang durch beide Schichten 6 und 8 erhalten.
- 10 In Abbildung b) wird eine kleine Spannung angelegt, die unterhalb derjenigen Spannung liegt, bei der die Helixstruktur verschwindet. Die langsamen optischen Achsen mit den Brechungsindizes  $n_{20p20}'$  sowie die schnellen Achsen mit den Brechungsindizes  $n_{20s20}'$  der beiden Schichten 6 und 8
- 15 reorientieren sich und werden um den Winkel  $\theta$  verdreht. Die rechten Winkel zwischen den Achsen bleiben erhalten. Der Brechungsindex  $n_{20p20}'$  steigt in den langsamen Achsen mit zunehmender Feldstärke  $E'$  an, während der Brechungsindex  $n_{20s20}'$  in den schnellen Achsen abnimmt. Der optische Weg des
- 20 durchgehenden Lichts wird mit der Feldstärke  $E'$  verändert und folglich verschiebt sich dessen Phase. Die größte optische Wegänderung findet bei einer Spannung statt, die kurz unterhalb derjenigen Spannung liegt, bei der die Helixstruktur des Flüssigkristalls verschwindet. Dieser
- 25 Zustand ist in Abbildung c) dargestellt. In den nun nicht mehr aufgewundenen Flüssigkristallen ist das Indexellipsoid der Brechungsindizes durch die molekularen Brechungsindizes  $n_{20p20}''$  und  $n_{20s20}''$  charakterisiert. Die langsamen Achsen mit den Brechungsindizes  $n_{20p20}''$  sind in den beiden
- 30 Schichten 6 und 8 um den molekularen Neigungswinkel  $T$  gekippt, was dem Winkel zwischen den smektischen Schichten 12 und 13 und den Helixachsen 7 und 9 entspricht. Auch in diesem Fall bleiben die Achsen unter einem rechten Winkel gekreuzt. Die Phasenverzögerung ist also über den gesamten
- 35 Betriebsbereich unabhängig von der Polarisation des Lichts. Somit ist auch die Steuerung unpolarisierten Lichts möglich.

## 5 Ansprüche

1. Elektrisch ansteuerbarer Lichtmodulator mit hintereinander angeordneten Flüssigkristallschichten, die zwischen transparenten Platten mit einer die Moleküle der Flüssigkristalle ausrichtenden Oberflächenanisotropie und mit Elektroden zur Erzeugung eines elektrischen Feldes in den Flüssigkristallen eingeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Schichten (6, 8) helikaler smektischer ferroelektrischer Flüssigkristalle, deren jeweils schnelle und langsame optische Achse parallel zu der jeweiligen Schicht (6, 8) liegen und deren mittlere optische Anisotropie durch Einwirkung des elektrischen Feldes (E) beeinflussbar ist, hintereinander im Strahlengang eines zu modulierenden Lichtstrahles (10) angeordnet sind und daß die Richtungen der schnellen bzw. langsamen Achsen der einzelnen Schichten (6, 8) gegeneinander derart verdreht sind, daß die Polarisierung des Lichtstrahls vor (10) und hinter (11) dem Modulator gleich ist.
2. Lichtmodulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Flüssigkristallschichten (6, 8) derart hintereinander angeordnet sind, daß die langsame optische Achse der ersten Schicht (6) senkrecht auf der langsamen optischen Achse der zweiten Schicht (8) steht, daß die schnelle optische Achse der ersten Schicht (6) senkrecht auf der schnellen optischen Achse der zweiten Schicht (8) steht und daß die Ausrichtung der langsamen und der schnellen optischen Achsen der beiden Schichten (6, 8) zueinander während des Anlegens und Veränderns der Steuerspannung jederzeit erhalten bleibt.
3. Lichtmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten zwischen zwei transparenten Platten eingeschlossen sind, an deren Elektroden eine Steuerspannung zur Erzeugung eines elektrischen Feldes anlegbar ist.

5

4. Lichtmodulator nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (6, 8) jeweils zwischen zwei transparenten Platten (1' und 2', 3' und 4') eingeschlossen sind, an deren Elektroden (1 und 2, 3 und 4) je eine Steuerspannung zur Erzeugung je eines elektrisches Feldes (E) anlegbar ist.

5. Lichtmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (6, 8) die gleichen mittleren Brechungsindizes aufweisen, die gleiche Dicke haben und synchron mit den gleichen Steuerspannungen beaufschlagbar sind.

6. Lichtmodulator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Steuerspannungen zueinander zur Kompensation der Polarisationsänderungen eines durchtretenden Lichtstrahles einstellbar ist.

7. Lichtmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerspannungen für die einzelnen Flüssigkristallschichten zur Kompensation von Fertigungstoleranzen abgleichbar sind.

8. Lichtmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten aus einer smektischen Flüssigkristallmischung FLC-472/FLC-247 bestehen.

9. Lichtmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallmischung aus 60 gew% Phenyl-Pyrimidin und 40 gew% einer achiralen smektischen A-Matrix mit einer chiralen Dotierung auf der Basis von di-substituiertem Ether von Bis-Terphenyl-Di-Carboxilsäure besteht.

5 10. Lichtmodulator nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallmischung aus  
60 gew% Phenyl-Pyrimidin und 40 gew% einer achiralen  
smektischen C-Matrix mit einer chiralen Dotierung auf der  
Basis von di-substituiertem Ether von Bis-Terphenyl-Di-  
10 Carboxilsäure besteht.

11. Adaptive optische Einrichtung, gekennzeichnet durch ein  
Feld von rasterartig angeordneten Lichtmodulatoren nach einem  
der vorhergehenden Ansprüche, welches in dem Strahlengang der  
15 Einrichtung angeordnet ist, wobei jeder einzelne  
Lichtmodulator zur Kompensation punktuell auftretender  
Unschärfen eines zu verarbeitenden Bildes ansteuerbar ist.

12. Adaptive optische Einrichtung nach Anspruch 11, dadurch  
20 gekennzeichnet, daß die Lichtmodulatoren auf einer  
gemeinsamen Trägerschicht aufgebracht sind.

13. Adaptive optische Einrichtung nach einem der Ansprüche  
11 oder 12, gekennzeichnet durch die Anordnung vor dem  
25 Bildsensor einer Digitalkamera, wobei das von der Kamera  
aufgenommene Bild einer Bildauswerteeinrichtung zur  
Ermittlung punktueller Unschärfen des Bildes zuführbar ist  
und wobei die adaptive optische Einrichtung von der  
Bildauswerteeinrichtung zum Ausgleich der Unschärfen  
30 ansteuerbar ist.

14. Adaptive optische Einrichtung nach einem der Ansprüche  
11 oder 12, gekennzeichnet durch die Anordnung in einer  
optischen Beobachtungseinrichtung, wobei das zu beobachtende  
35 Bild parallel einer Bildauswerteeinrichtung zur Ermittlung  
punktueller Unschärfen des Bildes zuführbar ist und wobei die  
adaptive optische Einrichtung von der Bildauswerteeinrichtung  
zum Ausgleich der Unschärfen ansteuerbar ist.

- 5 15. Adaptive optische Einrichtung nach einem der Ansprüche  
11 oder 12, gekennzeichnet durch die Anordnung in einer  
Kamera, wobei das zu beobachtende Bild einer  
Bildauswerteeinrichtung zur Ermittlung punktueller Unschärfen  
des Bildes zuführbar ist und wobei die adaptive optische  
10 Einrichtung von der Bildauswerteeinrichtung zum Ausgleich der  
Unschärfen ansteuerbar ist.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



1/1

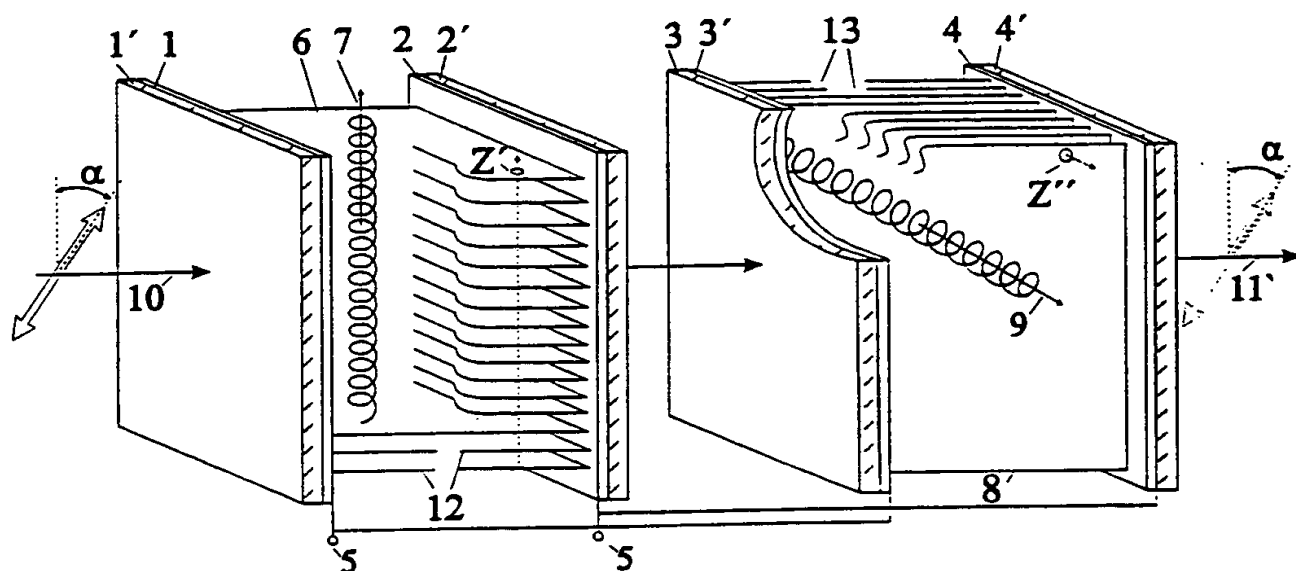


Fig. 1

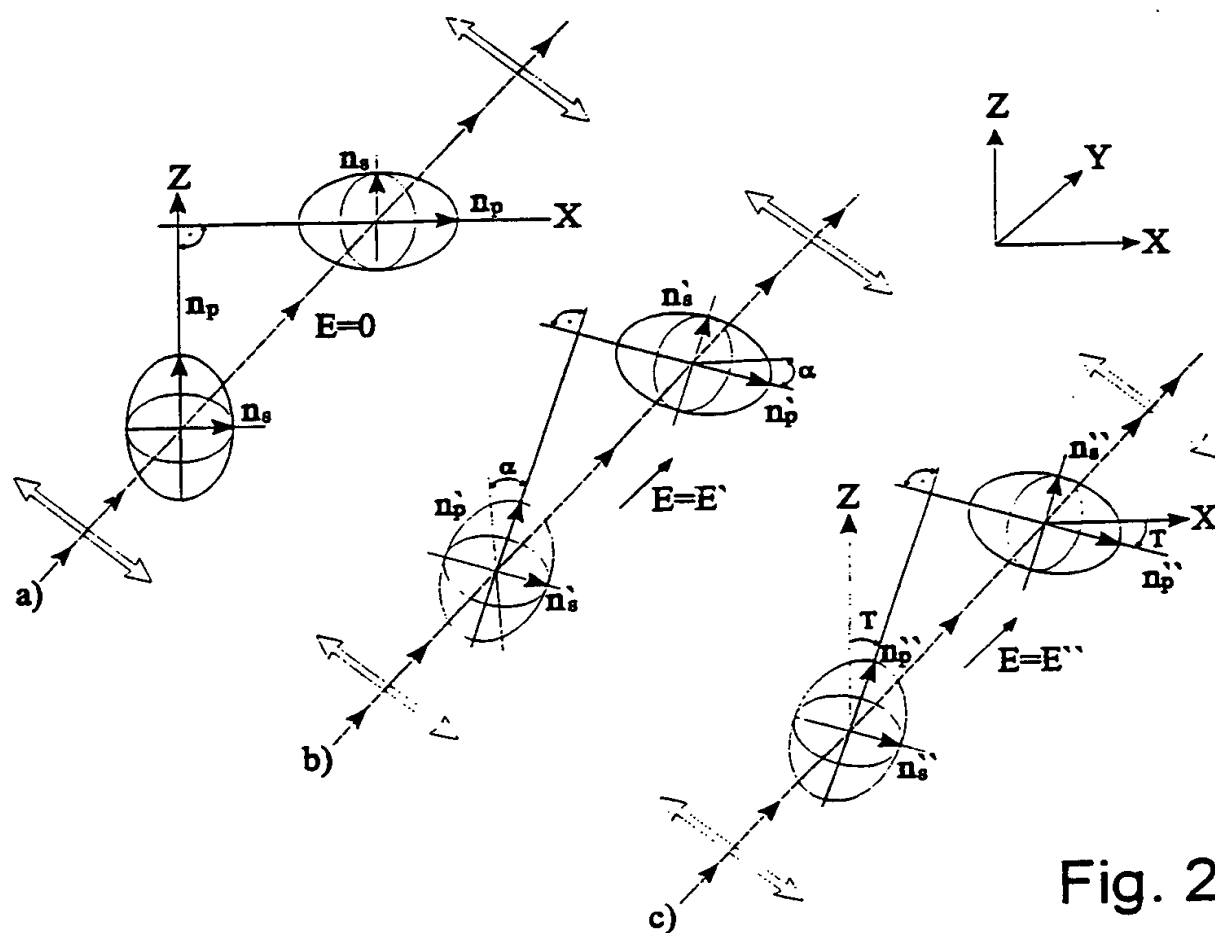


Fig. 2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/08206

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G02F1/1347 G01J9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02F G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| Y          | US 5 477 354 A (SCHEHRER KEVIN L)<br>19 December 1995 (1995-12-19)<br>column 1, line 12 -column 4, line 41  | 1-15                  |
| Y          | WO 94 25893 A (SNEH ANAT ;LU JIAN YU (US);<br>SHARP GARY D (US); JOHNSON KRISTINA M)<br>10 November 1994 (1994-11-10)<br>page 3, line 36 -page 6, line 26<br>page 16, line 33 -page 17, line 10; figure<br>3D | 1-15                  |
| A          | EP 0 459 306 A (MERCK PATENT GMBH)<br>4 December 1991 (1991-12-04)<br>page 5, line 08 - line 27<br>page 7, line 06 - line 18  | 1,11-15               |
|            | -/--  |                       |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 February 2000

Date of mailing of the international search report

16/02/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Diot, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter:      nal Application No

PCT/EP 99/08206

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|----------|---|-----------------------|
| A        | <p>BERESNEV L ET AL: "Ferroelectric liquid crystals: Development of materials and fast electrooptical elements for non-display applications"<br/>OPTICAL MATERIALS,NL,ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. AMSTERDAM,<br/>vol. 9, no. 1-4,<br/>1 January 1998 (1998-01-01), pages 201-211, XP004123025<br/>ISSN: 0925-3467<br/>the whole document<br/>---</p>   | 1,9                   |
| A        | <p>WAND M D ET AL: "An easily aligned deformable helix ferroelectric liquid crystal mixture and its use in devices"<br/>LIQUID CRYSTAL MATERIALS, DEVICES AND APPLICATIONS, SAN JOSE, CA, USA, 11-13 FEB. 1992,<br/>vol. 1665, pages 176-183, XP000874189<br/>Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1992, USA<br/>ISSN: 0277-786X<br/>the whole document<br/>---</p> | 1                     |
| A        | <p>LOVE .G.D: "Polarization Insensitive 127 Segment Liquid Crystal wavefront corrector"<br/>ADAPTIVE OPTICS OSA TECHNICAL DIGEST SERIES, - 1996 pages 288-290, XP000874813<br/>the whole document<br/>---</p>   | 1                     |
| A        | <p>ESCHLER J ET AL: "Fast adaptive lens based on deformed helical ferroelectric liquid crystal"<br/>INTERNATIONAL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONFERENCE (FLC 95), CAMBRIDGE, UK, 23-27 JULY 1995,<br/>vol. 181, no. 1-4, pages 21-28,<br/>XP000874188<br/>Ferroelectrics, 1996, Gordon &amp; Breach, Switzerland<br/>ISSN: 0015-0193<br/>the whole document<br/>-----</p>                                 | 1,12                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/08206

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s)   | Publication<br>date      |
|---|---------------------|------------------------------|--------------------------|
| US 5477354 A                              | 19-12-1995          | NONE                         |                          |
| WO 9425893 A                              | 10-11-1994          | US 5493426 A<br>AU 6714694 A | 20-02-1996<br>21-11-1994 |
| EP 0459306 A                              | 04-12-1991          | NONE                         |                          |

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter.inales Aktenzeichen

PCT/EP 99/08206

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G02F1/1347 G01J9/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02F G01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| Y          | US 5 477 354 A (SCHEHRER KEVIN L)<br>19. Dezember 1995 (1995-12-19)<br>Spalte 1, Zeile 12 - Spalte 4, Zeile 41<br>---   | 1-15               |
| Y          | WO 94 25893 A (SNEH ANAT ; LU JIAN YU (US);<br>SHARP GARY D (US); JOHNSON KRISTINA M)<br>10. November 1994 (1994-11-10)<br>Seite 3, Zeile 36 - Seite 6, Zeile 26<br>Seite 16, Zeile 33 - Seite 17, Zeile 10;<br>Abbildung 3D<br>--- | 1-15               |
| A          | EP 0 459 306 A (MERCK PATENT GMBH)<br>4. Dezember 1991 (1991-12-04)<br>Seite 5, Zeile 08 - Zeile 27<br>Seite 7, Zeile 06 - Zeile 18<br>---<br>-/-   | 1, 11-15           |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. Februar 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

16/02/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Diot. P

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Betr. Anspruch Nr. |
|-----------|--|--------------------|
| A         | BERESNEV L ET AL: "Ferroelectric liquid crystals: Development of materials and fast electrooptical elements for non-display applications"<br>OPTICAL MATERIALS,NL,ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. AMSTERDAM,<br>Bd. 9, Nr. 1-4,<br>1. Januar 1998 (1998-01-01), Seiten 201-211, XP004123025<br>ISSN: 0925-3467<br>das ganze Dokument<br>---   | 1,9                |
| A         | WAND M D ET AL: "An easily aligned deformable helix ferroelectric liquid crystal mixture and its use in devices"<br>LIQUID CRYSTAL MATERIALS, DEVICES AND APPLICATIONS, SAN JOSE, CA, USA, 11-13 FEB. 1992,<br>Bd. 1665, Seiten 176-183, XP000874189<br>Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1992, USA<br>ISSN: 0277-786X<br>das ganze Dokument<br>--- | 1                  |
| A         | LOVE .G.D: "Polarization Insensitive 127 Segment Liquid Crystal wavefront corrector"<br>ADAPTIVE OPTICS OSA TECHNICAL DIGEST SERIES, - 1996 Seiten 288-290, XP000874813<br>das ganze Dokument<br>---   | 1                  |
| A         | ESCHLER J ET AL: "Fast adaptive lens based on deformed helical ferroelectric liquid crystal"<br>INTERNATIONAL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONFERENCE (FLC 95), CAMBRIDGE, UK, 23-27 JULY 1995,<br>Bd. 181, Nr. 1-4, Seiten 21-28,<br>XP000874188<br>Ferroelectrics, 1996, Gordon & Breach, Switzerland<br>ISSN: 0015-0193<br>das ganze Dokument<br>-----                                      | 1,12               |



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/08206

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 5477354 A                                       | 19-12-1995                    | KEINE                             |                               |
| WO 9425893 A                                       | 10-11-1994                    | US 5493426 A<br>AU 6714694 A      | 20-02-1996<br>21-11-1994      |
| EP 0459306 A                                       | 04-12-1991                    | KEINE                             |                               |

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**